XIX COPINAVAL 2005

Cálculo de la navegación de altura empleando señales de posicionamiento global e imágenes meteorológicas.

Autor: MSc. Ing. Jorge Alberto Martín Ferrer[1] y MSc. Ing. José Luis Gil Rodríguez[2]

[1] Academia Naval "Granma",
Micro X, Alamar, Habana del Este, Ciudad de La Habana, Cuba
Teléfono: 93 9671 y Fax: 93 9676

[2] Centro de Aplicaciones de Tecnologías de Avanzada
7a #21812 e/ 218 y 222, Rpto. Siboney, Playa. C.P. 12200
Ciudad de la Habana, Cuba
Teléfono: (+)537.835.3751
Oficina: (+)537.272.1670 ext 203
Fax: (+)537.273.0045
Email: jlgil@cenatav.co.cu;

Resumen
Por primera vez en Cuba se calculan las travesías óptimas para la navegación marítima de altura captando automáticamente los datos que ofrece un receptor GPS los que se entregan a diferentes algoritmos de cálculo de tranceptos. Las trayectorias obtenidas se combinan con imágenes satelitales meteorológicas para ilustrar gráficamente las trazas de la derrota ortodrómica o mixta que debe seguir el buque. Los procedimientos elaborados semiautomatizan la metodología que hoy existe, consistente en procedimientos manuales de cálculo. La semiautomatización de este proceso tiene en cuenta el acople automático del GPS con una computadora y la conversión a digital de los datos pertenecientes a una imagen que se recibe por radio. Por otra parte, la información que tradicionalmente se saca de una voluminosa cantidad de cartas de navegación, se sustituye por la programación de los algoritmos que le dan lugar a ellas. De este modo se presenta una nueva tecnología que se inicia con el acople del GPS – Computadora y la representación gráfica de la imagen meteorológica en el display de esta última, y culmina superponiendo las cuerdas de una derrota que tiene la peculiaridad de ser la trayectoria de mínima distancia del arco que se obtiene a partir del conjunto de algoritmos aplicados. La tecnología propuesta ha sido organizada en un software, actualmente en uso en la Academia Naval "Granma". La metodología está avalada por especialistas de navegación, el mando de la MGR, las cátedras de Cubierta, Radioelectrónica y Matemática, el Grupo Empresarial Geocuba, capitanes de buques de la economía nacional y el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.
Palabras claves: Navegación de altura, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), imágenes meteorológicas satelitales, derrota ortodrómica.

Abstract:
For the first time in Cuba optimal voyages are calculated for marine great circle sailing capturing automatically the GPS data which are introduced to different algorithms of transepts calculation. The marine navigation trajectories obtained are combined with meteorological satellites images to illustrate graphically both, the orthodromic trajectories layout and/or combined trajectories that should follow the ship. The procedures elaborated semiautomatize the cuban methodology that today exists, consistent in manual procedures of calculation. The semiautomatization of this process take account the automatic electronic linkage between a GPS with a computer, and also the digital conversion of the image data received by radio. On the other hand, the information that traditionally is obtained from a voluminous quantity of impressed "sailing letters", is substituted by the computational programming of mentioned algorithms that generates a digital version of "sailing letters". In this way a new technology is presented that begins with the GPS–Computer linkage, the graphic representation of the meteorological image on the computer display, and it culminates superimposing on this image, the calculated marine trajectory that has the peculiarity of being the trajectory of minimum distance obtained from the applied algorithms set. The proposed technology has been organized in a digital image processing software, at the

moment in use in the "Granma" Naval Academy of Cuba. The methodology is endorsed by astronomic sailing specialists, the cuban marine, the Naval Academy Departments of Cubierta, Radio-electronic and Mathematics, the Geocuba Enterprise Group, captains of ships of the national economy and by the Ministry of Science Technology and Environment.

Cálculo de la navegación de altura empleando señales de posicionamiento global e imágenes meteorológicas.

1 Introducción

El trabajo que se presenta hace uso del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) considerando que es de gran exactitud en el posicionamiento de objetos situados en la superficie de la tierra, el aire y el mar. Ello hace posible el aprovechamiento de sus datos para ser usados en aplicaciones computacionales cuando un receptor GPS se acopla a una computadora (PC). En la navegación de altura este tipo de acople puede ayudar al cálculo de travesías óptimas captando automáticamente las coordenadas del buque que entrega el receptor GPS, transfiriéndolos a la computadora y aplicando diferentes algoritmos de cálculo de transeptos que unido a una imagen con información meteorológica ha podido dar lugar a una metodología de trabajo nueva para nuestro país.

2 Materiales y Métodos

2.1 Comunicación entre el receptor GPS y la PC

El receptor GPS es el encargado de realizar el procesamiento de la señal; elaborar un código en forma legible, con un formato o norma preestablecido por la Asociación Nacional de Electrónica Marina (NMEA), y transmitir su código a través de la salida del receptor cumpliendo con determinados parámetros.

Para la comunicación entre el receptor y el software soportado en la PC, se empleó el control MSComm a través del acoplamiento físico por el puerto serie con un conector DB9, tratados en la norma 61162-1 de la IEC (1998 –08,09,2000-07**)**. Este control envía asincrónicamente la señal del GPS, la cual se caracteriza por un bit de comienzo y uno de parada, un bit de paridad, el resto de datos, y controla cualquier error de comunicación. La utilización de los datos de interés provenientes del receptor con el formato NMEA – 0183 es el estándar para interfaces de equipos electrónicos marinos. La señal recibida se usa en dispositivos con interfaces de puerto serie asincrónicos que poseen los siguientes parámetros: Baud Rate : 4800, Data Bits : 8 (d7=0), Parity : None, Stop Bits : One (o más) (Martín, 2001; Scot, 2001; Casas, 2002; Fondevila, 2003).

El estándar NMEA – 0183 le permite además a los fabricantes individuales, definir sentencias propietarias. Estas sentencias comienzan con el carácter "$P" y su formato es variable (KGP,1997; Langley, 1997). Ejemplo de códigos propietarios para GPS del tipo:

- Garmin GPS-38, NMEA-0183 V. 1.5

  Formato estándar: GLL, RMB, RMC, WPL, BOD, XTE, VTG, BWC.

  Código Proprietario: PGRMM (map datum), PGRMZ (altitud), PSLIB (dgps).

- Garmin GPS-38, NMEA-0183 V. 2.0

  Formato estándar: GLL, RMB, RMC, WPL, BOD, GSA, GSV, RTE, GGA. Código Propietario: PGRME (error estimado), PGRMM, PGRMZ, PSLIB.

El siguiente ejemplo muestra el bloque de un conjunto de datos recibidos que se repite cada dos segundos durante la recepción, pero con otros valores:

```
$GPRMB,A,,,,,,,,,,,V*71
$GPGGA,033851,2305.847,N,08226.493,W,1,04,2.8,35.2,M,-21.6,M,,*41
$GPGSA,A,3,,05,07,09,10,,17,,,,,,4.6,2.8,3.6*33
$GPGSV,3,1,11,04,38,029,00,05,34,303,45,07,37,099,30,09,08,242,44*79
$GPGSV,3,2,11,10,48,201,38,13,11,071,00,17,24,265,46,24,53,325,30*7D
$GPGSV,3,3,11,28,06,156,00,29,01,183,00,30,06,320,30,,,,*40
$PGRME,6.1,M,10.5,M,12.1,M*2F
$GPGLL,2305.847,N,08226.493,W,033851,A*3B
$PGRMZ,116,f,3*1D
$PGRMM,WGS 84*06
$GPBOD,,T,,M,,*47
$PSLIB,,,K*23
$PSLIB,,,J*22
$GPRTE,1,1,c,0*07
$GPRMC,033853,A,2305.847,N,08226.494,W,000.0,360.0,281003,003.8,W
```

La aplicación selecciona del conjunto de datos almacenados en el buffer la cadena que presenta los códigos referentes a las variables siguientes:

- La posición en coordenadas geográficas (latitud y longitud). Cadena $GPGGA, $GPGLL, $GPRMC.
- El rumbo efectivo y la velocidad del buque: Cadena $GPBOD, $GPVTG.

Estos datos son utilizados para realizar los cálculos de la travesía del buque durante la navegación por círculo máximo ó navegación ortodrómica.

2.2 Navegación por Círculo Máximo

Con el empleo del receptor GPS se pueden obtener los datos necesarios para realizar la travesía interoceánica, como son las coordenadas del punto de salida de la embarcación. En cambio, el punto de llegada ó arribo se deben introducir de forma manual o seleccionándola de una lista de puertos con sus coordenadas predefinidas. A diferencia de la derrota **loxodrómica** que se realiza a través de un rumbo constante (línea recta), en la derrota **ortodrómica** la navegación tiene lugar siguiendo aproximadamente el círculo máximo o traza de menor distancia en la esfera.

En este último caso es necesario cambiar el rumbo constantemente para cada meridiano (vea el arco $\overset{\frown}{AB}$ en la Fig. 2.1 a)) (Bowditch, 1973 y 1995; Moreu, 1973). Dada esta dificultad, y por ser en la práctica la diferencia en grados para el cambio de rumbos muy pequeña, durante un tiempo prolongado, se navega siguiendo una línea quebrada por varias loxodrómicas, modificándose el rumbo una o dos veces por singladura o cada 200 o 300 millas, según el criterio establecido. Su trazado en la carta en proyección Mercator (Fig. 2.1 b)) se observa que aunque aparentemente mayor que la ortodrómica; no lo es en realidad por estar ploteada en una longitud más elevada a la que corresponde distancias menores (Alexandrovsky, 1995).

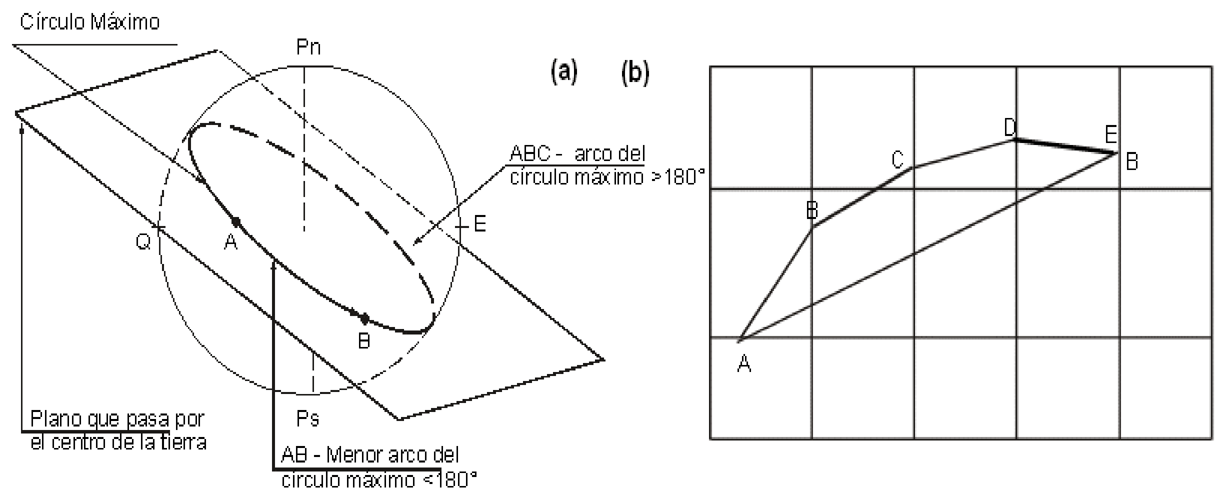


Fig. 2.1. a) Representación del círculo máximo en la superficie terrestre. Tomado de Iglesias et al., 2004. b) Representación gráfica de los puntos intermedios (ABCDE) convergiendo hacia el polo norte durante la navegación ortodrómica ($\overset{\frown}{AB}$) en el hemisferio norte. Las rectas entre los puntos ABCDE corresponden a líneas loxodrómicas que simulan el círculo máximo.

Como se refleja por el colectivo de autores de la Cátedra de Navegación de la Academia Naval ”Granma” (1980 y 1985), para un control constante de la veracidad de todos los parámetros relacionados con la ortodromia; se recomienda realizar el trazado de los cálculos, teniendo ante sí:

1. una representación esquemática sobre la esfera, ó
2. una carta gnomónica, ó
3. una *carta Mercator*.

En uno de estos medios se debe mostrar la posición de la ortodrómica, el ecuador, el meridiano de Greenwich 0 ó 180°, para evitar equivocaciones. Con la utilización del sistema computarizado NavOrt V – 3.0 que se ha creado, se pretende prescindir de estos medios, de tal forma que el navegante podrá comprobar la veracidad de los cálculos con sólo visualizar la imagen en un plano ó en la carta general en formato digital.

2.3 Trazado del arco de círculo máximo en la carta Mercator y cálculo de los rumbos para la navegación

Al obtener la posición del buque por observaciones (posición fija), al navegante siempre le es necesario, como plantean Alexandrovsky (1995) y Bowditch (1995), resolver la siguiente cuestión: ¿Será necesario corregir el rumbo de forma que el buque se mantenga en la derrota previamente propuesta?. Durante el trayecto entre los puntos de salida y llegada, el navegante realiza no menos de 12 – 15 observaciones (fundamentalmente astronómicas) para determinar la posición fija (control), en buques que no posean sistema de posicionamiento global.

La práctica demuestra, que la conducción real del buque por la ortodrómica, generalmente no se efectúa por los cálculos del ploteo previo. La causa de éste fenómeno radica fundamentalmente en la consideración incorrecta de la deriva y el abatimiento del buque debido al oleaje y al viento, lo que afecta la posición del buque. En Iglesias et al., (2004), se exponen diferentes métodos para realizar la navegación ortodrómica. Uno de ellos es empleando la corrección ortodrómica.

2.4 Navegación por arco de círculo máximo utilizando la corrección ortodrómica

Iglesias et al. (2004) plantea todo el procedimiento a seguir empleando este método. A pesar de ser éste un procedimiento en el que se adquiere habilidad con la práctica, se han realizado

estudios por comprobaciones a los libros de bitácora y en ejercicios de entrenamiento, que demuestran la presencia de errores humanos por equivocaciones en el cálculo de los parámetros para la entrada y durante la obtención de los valores de las tablas, así como en la aplicación de los signos a las correcciones, el exceso de confianza durante la aplicación del procedimiento y la rutina del mismo e influye además el agotamiento físico del personal debido a la cantidad de días en alta mar.

La Tabla 2.1 recoge la síntesis de la acumulación de los errores en un período de 19 años, para un promedio de 9 días de navegación interoceánica de un buque que navega a 18 nudos de velocidad. Se considera el promedio por horas de guardia de navegación de un oficial de puente según la rotación de las brigadas.

Tabla 2.1. Comportamiento de los errores por equivocaciones en el cálculo de la corrección ortodrómica y su aplicación para determinar el rumbo ortodrómico.

Día	Cantidad de Libros de Bitácora (se incluyen trazados de rutina y comprobaciones)		Por ciento de equivocaciones en las 4 horas de Navegación de su brigada.		
			primeras 2 horas	tercera hora	cuarta hora
1	-		0.0	0.3	0.7
2	-		0.1	0.5	1.0
3	-		0.1	0.8	1.1
4	-		0.2	1.0	1.3
5	-		0.3	1.5	1.9
6	-		0.5	2.0	2.5
7	-		0.6	2.6	3.0
8	-		1.0	3.0	3.3
9	-		1.1	3.3	5.2
Total	1350		3%	15%	20%
	Pérdidas	Espacio navegado	2 M	5 M	7.2 M
		Total	14.2 Millas en 4 horas.		

En la Fig. 2.3 se muestra el comportamiento de los errores según la Tabla 2.1, y se refleja el nivel ascendente que va adquiriendo la acumulación de los errores por equivocaciones en las etapas medias durante la ejecución de la guardia por parte del Oficial de Puente que lleva la derrota en la navegación ortodrómica. Se observa como la curva tiende a mantenerse en las etapas finales de la travesía, pero se infiere que la fatiga del personal influye en los cálculos que se tienen que realizar con un volumen grande de datos dispersos en varias fuentes.

Estos errores aunque no han constituido un peligro para la vida humana, la carga y la seguridad del buque debido a la extensión de agua por la que se navega, sí constituyen pérdidas a la economía nacional por concepto de distancia - tiempo de navegación, lo que tiene que ver con el consumo de combustible, salarios, entrega tardía de la carga y otros conceptos propios de la actividad.

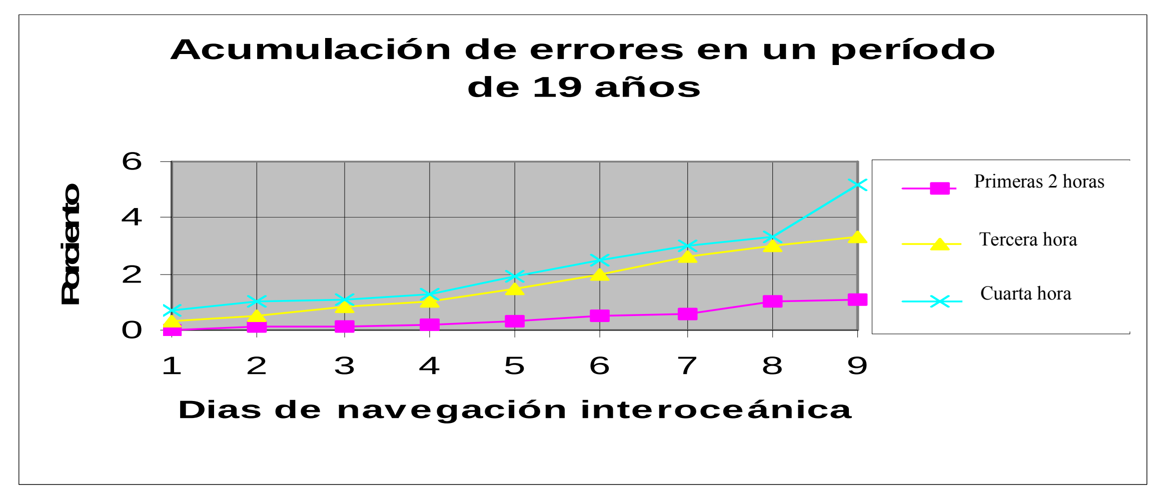


Fig. 2.3. Gráfico del comportamiento de los errores por equivocaciones en el cálculo de la corrección ortodrómica y su aplicación para determinar el rumbo ortodrómico.

Un ejemplo práctico en la que se refleja el tiempo de duración analizado en el ejemplo anterior, es la travesía desde La Habana, hasta Plymouth, reflejada en la Fig. 2.4.

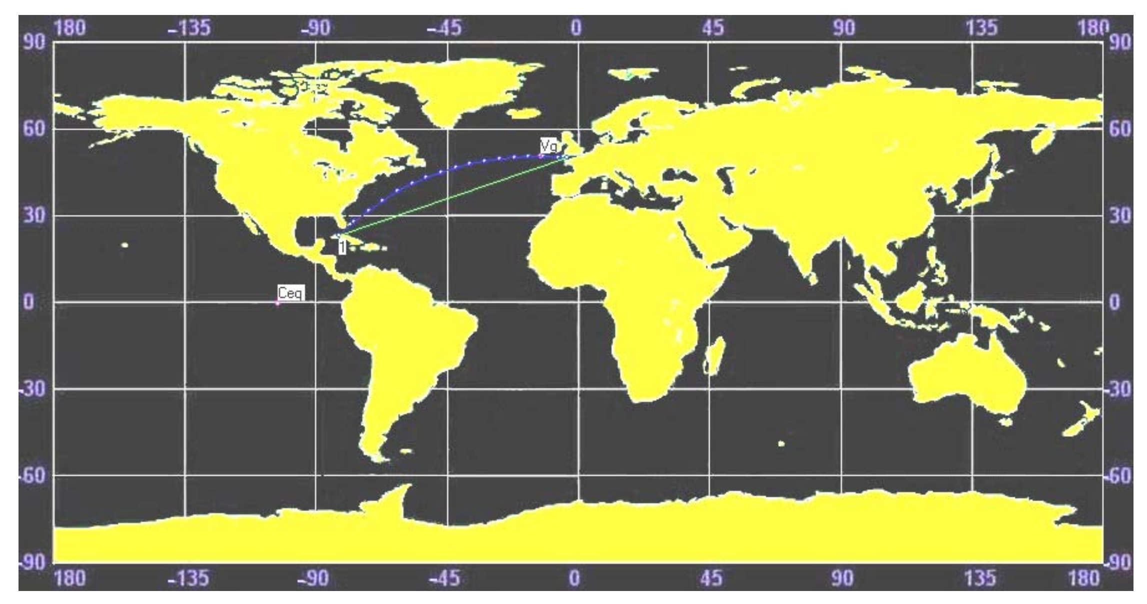


Fig. 2.4. Imagen que muestra la travesía desde la Habana, Cuba hasta Plymouth, Inglaterra.

Como este tipo de travesía se realiza para grandes distancias, se tienen períodos de navegación muy largos. A causa de ello, es posible que durante la navegación, las condiciones hidrometeorológicas puedan empeorar, por lo que empleando las imágenes meteorológicas se controlan las posiciones intermedias y la navegación por los tramos o cuerdas.

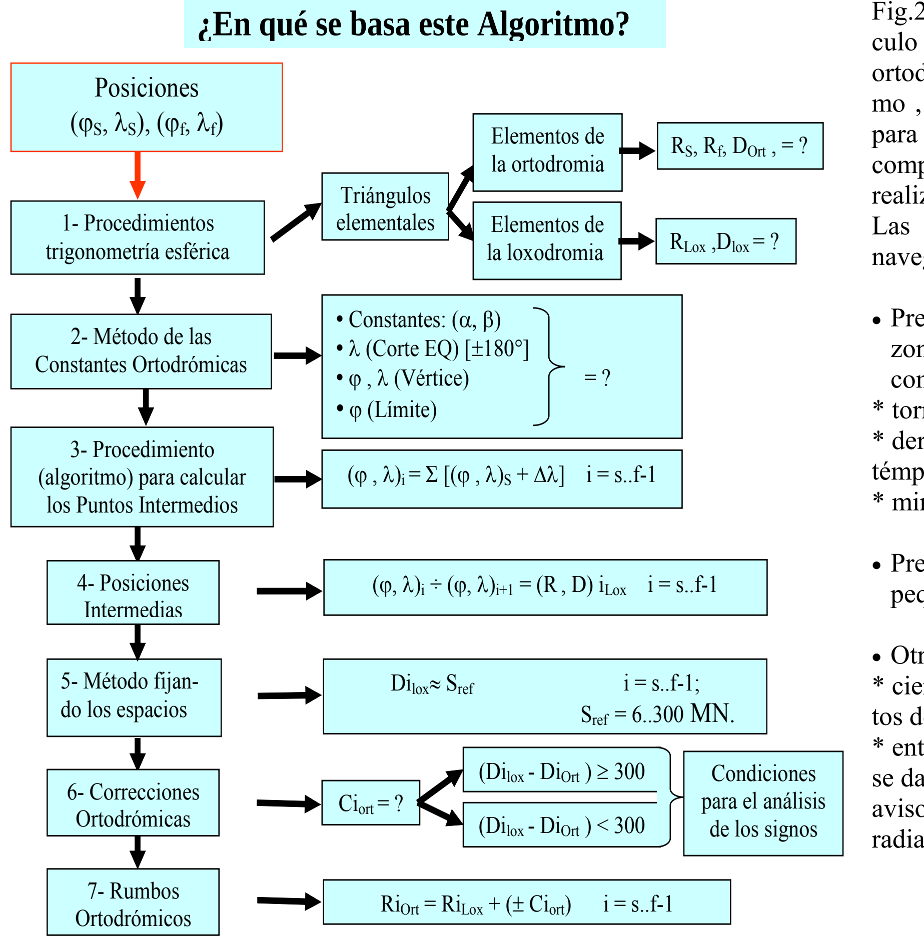


Fig.2.5 Algoritmo para el cál-culo de la navegación ortodrómica o por círculo máxi-mo , el cual se utiliza ade-más, para el caso de la na-vegación compuesta o mixta (esta se realiza hasta un paralelo límite). Las causas que propician la navegación mixta pueden ser:

- Presencia en determinadas zonas de obstáculos móviles, como son:
  * tormentas tropicales;
  * derrames de hidrocarburos;
  * témpanos de hielos;
  * minas a la deriva.
- Presencia de obstáculos fijos: pequeñas islas.
- Otros eventos restrictivos:
  * cierre de zonas por conflic-tos de cualquier tipo;
  * entrenamientos militares que se dan a conocer a través de los avisos a los navegantes y avisos radia-dos.

Considerando lo anteriormente expuesto, se dotó al sistema de un módulo de procesamiento de imágenes meteorológicas del tipo facsimil que son recibidas por radio y que por las características de la relación señal/ruido tienen baja calidad. La imagen meteorológica se recibe empleando el software WXSat. Este módulo posee varios opciones de tratamiento de la imagen (Zayas, 1998; Gil et al., 2002):

- Preprocesamiento, el cual realiza el filtrado digital en el dominio del espacio (media, mediana), y detectores de bordes que trabajan por convolución (norte y α-laplaciano).

- Mejoramiento, para realizar el control empleando una barra de herramientas desde donde se invocan diferentes técnicas como el brillo, contraste, saturación, gausiano, perfilar y absorber.
- Herramientas de manipulación, para realizar la conversión a gris, composición a falso color, descomposición en bandas, voltear horizontal y vertical, rotar en cualquier ángulo, negativo, relieve.

3 Resultados

El resultado puede ser resumido en una tecnología que está implementada para su uso práctico en el software NAVORT y que se muestra en la Fig. 2.6. De manera sintetizada se puede resumir en los siguientes pasos:

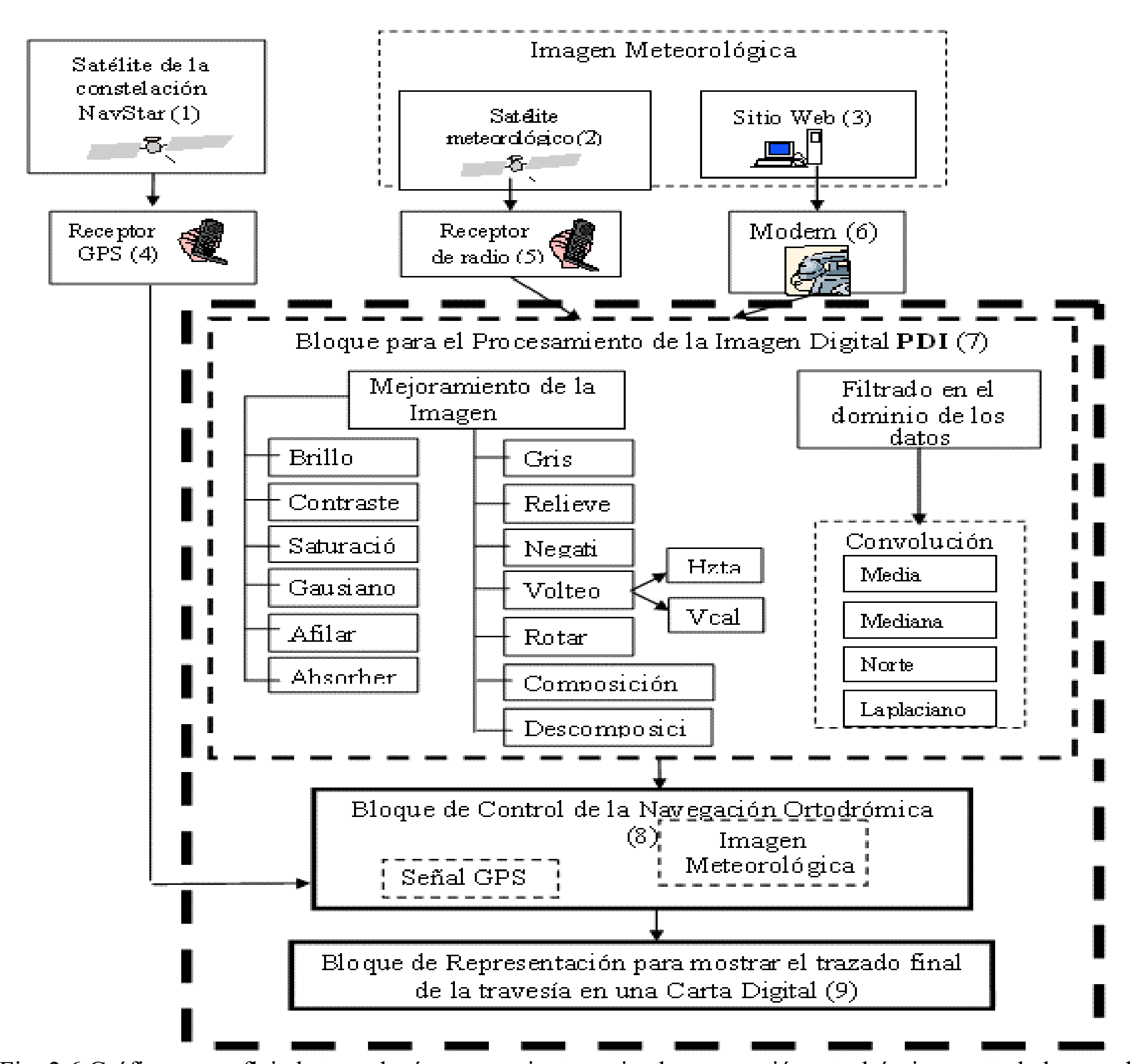


Fig. 2.6 Gráfico que refleja la tecnología que semiautomatiza la navegación ortodrómica controlada con el empleo de la señal de posicionamiento global y las imágenes meteorológicas.

4 Conclusiones y recomendaciones

Aplicando la tecnología propuesta se controla la navegación ortodrómica y mixta empleando la señal de posicionamiento global y las imágenes meteorológicas, aspecto este novedoso para este tipo de travesía. Se recomienda el empleo de las carta náuticas en formato raster y vectorial para el ploteo y visualización de las travesías interoceánicas.

Bibliografía

1. Alexandrovsky V.V., 1995: "Navegación". MIR, URSS.
2. Bowditch Nathaniel, Edición 1973, 1995: "American Practical Navigator an Epitome of Navigation, Volume I, Defense Mapping Agency Center.
3. Casas, Luis Batista. 2002: "Características y empleo de la norma NMEA-0183". III Conf. Cient. de Ciencias Básicas y Específicas de los CEM de las FAR. ITM.
4. Colectivo de autores de la Cátedra de Navegación, 1985: "Fundamentos de la teoría de errores y su utilización en la navegación". Del 1993: "Navegación de estima, costera y electrónica". Tomo I y II. Academia Naval "Granma".
5. Dutton's, 1978: "Navigation".
6. Fondevila Ayala, J. 2003: "Sistemas satelitales de Navegación", Academia Naval "Granma", Imprenta Academia de las FAR General "Máximo Gómez Báez".
7. Gil, J.L.;E.B. García; R. Sánchez; M.B. Martínez, et. al., 2000: "Tn Estudio V1.1: Software para el tratamiento digital de imágenes. Ejemplo de aplicaciones y sus perspectivas", II Congreso Internacional de Geomática, Ciudad Habana, ISBN 959 – 7160-01-03, Cuba.
8. Gil, J.L.; E.B. García, M. Vega; y R. Sánchez. 2002: "Manual de Usuarios Tn Estudio V2.0", Publicado en la Imprenta de la Academia Naval "Granma" Cuba.
9. Iglesias Campillo, Mario; J.A. Martín Ferrer; E. González Rebellés, 2004: "Navegación", Edimar, GEOCUBA, Cuba.
10. Inmarsat, 1994: "Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítima".ICH. Cuba.
11. KGP 95, 1997: "Manual del Usuario GPS", Japón.
12. Langley, R., June 1997: "GPS Receiver System Noise", GPS World.

13. Martín Ferrer, Jorge A, Nov. 2001: "Procesamiento de la señal de satélite con el software TabComp.exe V – 3.01". I Taller de procesamiento de señales e imágenes en la rama naval, Cuba.
14. Norma 61174, 1998-08: Maritime navigation and radiocomunication equipament and systems – Electronic chart display and information systems (ECDIC) – Operational and performace requeriments, methods of testing and required test result, IEC.
15. Solas' 74, 1974: "Convenio para la seguridad de la vida humana en el mar". OMI.
16. Scott, E.M., 2 Oct. 2001: "Nautical briefing, Information technology and the training needs of saefarers", The Nautical Institute, London UK, STW 33/INF.
17. Tamaya Calculator NC – 88, 1988: "Astro Navigation Piloting & Reckoning, Manual de Usuario". Tamaya & Company Limited, Tokyo, Japón.
18. Transas Marine Ltd., May 2001: "Navy-Sailor V - 3.2", Technical Reference Edition.